

EVALUACIÓN DE MODELOS JERÁRQUICOS DIFUSOS UTILIZANDO CONCEPTOS COMPUESTOS DIFUSOS EN SISTEMAS EXPERTOS

**EVALUATION OF A HIERARCHICAL FUZZY SYSTEM, USING
FUZZY COMPOSITE CONCEPTS IN EXPERT SYSTEMS**

Renato Morales Nava

Tecnológico Nacional de México / IT de Lázaro Cárdenas, México
renato.morales@lcardenas.tecnm.mx

José Antonio López Tello

Tecnológico Nacional de México / IT de Lázaro Cárdenas, México
antonio.lopez@lcardenas.tecnm.mx

Alejandro Sosa Sales

Tecnológico Nacional de México / IT de Lázaro Cárdenas, México
alexss.sosa@gmail.com

Recepción: 17/noviembre/2021

Aceptación: 24/diciembre/2021

Resumen

Como parte fundamental de la presente investigación, se analiza la sensibilidad de los resultados del sistema difuso con respecto a sus insumos y con un conjunto de funciones de pertenencia, en un escenario virtual. Los sistemas de lógica difusa proporcionan un conjunto de herramientas y métodos probados para imitar o emular el razonamiento básico humano, es decir, transformarlo en instrucciones que la computadora puede comprender o transformar en instrucciones binarias. En esta investigación, se realiza un análisis de la sensibilidad de los resultados del sistema difuso con respecto a sus entradas y con un conjunto de funciones de membresía basado en la estructura con múltiples capas, subsistemas y topologías variadas que en investigaciones anteriores han demostrado que se han utilizado sistemas jerárquicos difusos para mejorar la interpretabilidad; en un escenario virtual para demostrar las ventajas que se obtienen al aplicar un sistema difuso jerárquico, utilizando conceptos compuestos difusos a sistemas orientados al área de la salud. El objetivo es diseñar un sistema jerárquico difuso utilizando conceptos compuestos difusos de la inteligencia artificial para medir la eficiencia de escenarios simulados.

Palabras Clave: Ambientes inteligentes, Cómputo afectivo, Conceptos compuestos difusos, Sistema de lógica difusa, Sistema jerárquico difuso.

Abstract

As a fundamental part of this research, the sensitivity of the results of the fuzzy system is analyzed with respect to its inputs and with a set of membership functions, in a virtual setting. Fuzzy logic systems provide a set of proven tools and methods to imitate or emulate human basic reasoning, that is, transform it into instructions that the computer can understand or transform into binary instructions. In this research, an analysis of the sensitivity of the results of the fuzzy system with respect to its inputs is carried out and with a set of membership functions based on the structure with multiple layers, subsystems and varied topologies that in previous investigations have shown that they have been used fuzzy hierarchical systems to improve interpretability; in a virtual setting to demonstrate the advantages obtained by applying a hierarchical fuzzy system, using fuzzy compound concepts to systems oriented to the health area. The goal is to design a fuzzy hierarchical system, using fuzzy composite concepts from artificial intelligence to measure the efficiency of simulated scenarios.

Keywords: *Affective Computing, Fuzzy Composite Concepts, Fuzzy Hierarchical System, Fuzzy Logic Systems, Intelligent Environments.*

1. Introducción

La teoría de los conjuntos difusos es una extensión de la teoría de conjuntos clásicos, que relaciona la pertenencia de la clase de un objeto con un cierto grado, sin haber fronteras abruptas entre una clase de objetos y otros; en el caso clásico un elemento puede pertenecer o no a un cierto conjunto.

A diferencia de las computadoras, los humanos tienen sentido común, que les permite razonar en un mundo en donde las cosas son sólo parcialidades de la verdad. La Lógica Difusa es una rama de la Inteligencia Artificial que ayuda a las computadoras a representar el conocimiento y el sentido común en un mundo lleno de incertidumbres [Zadeh, 2008].

Esencialmente la teoría difusa se basa en la teoría de los conjuntos difusos introducida por el profesor Lotfi Asker Zadeh en 1965 [Zadeh, 1965], profesor de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación de la Universidad de California en Berkeley.

En el artículo “Fuzzy Sets”, publicado por Zadeh se introdujo por primera vez la palabra “Fuzzy” en la literatura técnica y describe con la teoría matemática de conjuntos clásicos, como se puede trabajar matemáticamente con expresiones imprecisas, tal como lo hace el ser humano.

Por otro lado, los conceptos compuestos difusos se basan en sistemas de lógica difusa estándares y las extienden de manera transparente para proporcionar bases de reglas intuitivamente interpretables y mejorar la capacidad de recuperación y la reutilización de sistemas de lógica difusa en general.

Los conceptos compuestos difusos que permiten una imitación más cercana del razonamiento humano en términos de integrar una gran cantidad de parámetros en un solo concepto adecuado para un razonamiento de nivel superior [Wagner Christian 2010].

Problemática, Hipótesis

En la actualidad los sistemas basados en reglas difusas son una de las aplicaciones con mayor éxito de conjuntos difusos y lógica difusa [Morales, 2019]. En la mayoría de las aplicaciones utilizan un conjunto plano de reglas difusas o sea un solo sistema difuso único. Sin embargo, en aplicaciones complejas con un gran número de variables de entrada, no es apropiado definir un único sistema difuso con un conjunto de reglas porque, entre otros problemas, el número de reglas crece exponencialmente con el número de variables. Por consiguiente, es necesario la creación de un modelo, utilizando los sistemas jerárquicos difusos, que proponen como una de las alternativas ya que son utilizados eficazmente en este contexto, reduciendo el número de reglas, manteniendo la interpretabilidad del sistema. Es posible analizar, diseñar y evaluar un Sistema Jerárquico Difuso utilizando Conceptos Compuestos Difusos que permita medir su eficiencia y desempeño en escenarios de la salud.

Identificación de características de estudio

Para entrar en contexto, considerando que la emoción es un proceso psicofisiológico desencadenado por percepción consciente y/o inconsciente de un objeto o situación y a menudo se asocia con el estado de ánimo, el temperamento, personalidad y disposición, y motivación [Ekman, 2008], y para representar la relación que existe en estos dos sistemas difusos, llamaremos FLS1 al sistema de Mente Activa y FLS2 al sistema de Inferencia difusa para obtener energía y placer a través de múltiples emociones. En el cual se procedió a realizar un diagrama a bloques que relaciona a ambos sistemas y su interacción con el usuario, tal y como se muestra a continuación en la figura 1. En el diagrama a bloques, muestra que el usuario alimenta a ambos los sistemas FLS1 y FLS2, los cuales de manera independiente procesan la información en base a sus propias reglas difusas internas produciendo una salida específica para cada uno de ellos.



Fuente: Elaboración propia.

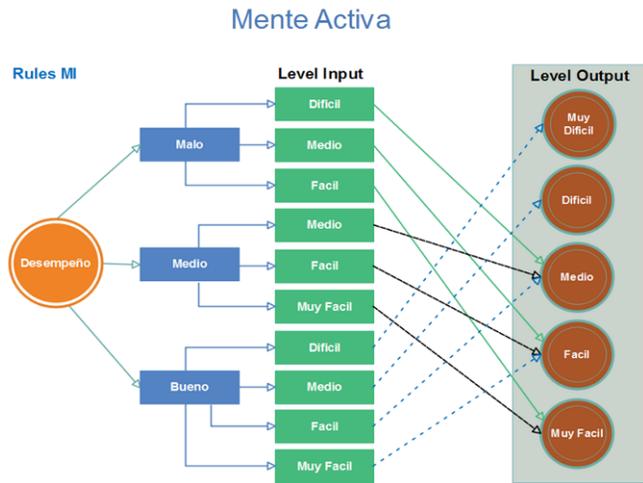
Figura 1 Diagrama de bloques que muestra la interacción de FLS1 y FLS2.

Del sistema FLS1 sólo se consideraron las reglas 6 a la regla 27, que son las que nos indican el nivel de dificultad [Navarro, 2018], que es la variable de salida que nos interesa. En el FLS2, se consideraron las 25 reglas ya que estas representan el mapeo de una sola variable de salida que es energía y agrado.

Posteriormente cabe hacer mención que se realizó un esquema de diseño de la variable de salida para ambos FLS, donde se muestran el comportamiento que

siguen las reglas y así poder realizar un diseño del modelo para poder definir las reglas que serán involucradas en un tercer FLS. Para el FLS1 se plantea un esquema como se muestra en la figura 2.

Para el caso del FLS2, las reglas sólo se centran en una variable de salida la cual se refleja en un plano bidimensional de Energía y Agrado, el cual es representado en la figura 3, donde se muestra la influencia entre las emociones, determinado a partir de una interacción entre niveles de cada emoción en un espacio específico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Relación de variables de desempeño, nivel de entrada y salida del FLS1.

	VERYLOW	LOW	MEDIUM	HIGH	VERYHIGH	
VERYHIGH	Anger-Medium Disgust-VeryLow Fear-Medium Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-Low Disgust-VeryLow Fear-High Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-Medium Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-Low Joy-Low Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-Medium Sadness-VeryLow	ENERGY
HIGH	Anger-High Disgust-Low Fear-Low Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-Medium Disgust-VeryLow Fear-Medium Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-Low Disgust-VeryLow Fear-Low Joy-Low Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-Medium Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-High Sadness-VeryLow	
MEDIUM	Anger-Medium Disgust-Medium Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-Low Disgust-Low Fear-Low Joy-VeryLow Sadness-Low	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-Low Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-Medium Sadness-VeryLow	
LOW	Anger-Low Disgust-High Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-Low	Anger-VeryLow Disgust-Medium Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-Medium	Anger-VeryLow Disgust-Low Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-Low	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-Low Sadness-VeryLow	
VERYLOW	Anger-VeryLow Disgust-Medium Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-Medium	Anger-VeryLow Disgust-Low Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-High	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-Medium	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-Low	Anger-VeryLow Disgust-VeryLow Fear-VeryLow Joy-VeryLow Sadness-VeryLow	
	PLEASANTNESS					

Fuente: [Guido, 2015].

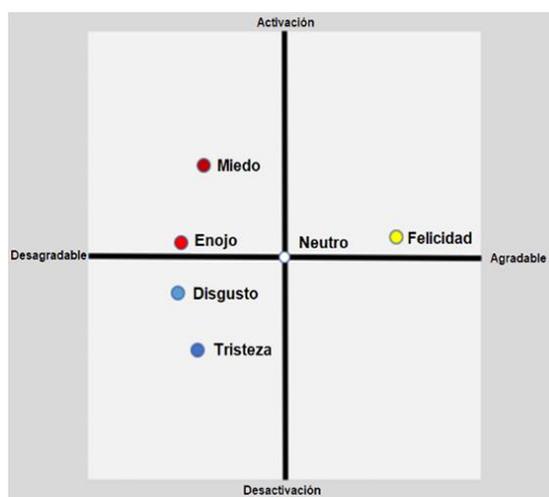
Figura 3 Interacción de emociones en la Cuadrícula Afectiva del FLS1.

La Cuadrícula Afectiva fue creada cambiando los términos de excitación y valencia a energía y agrado porque en el Medidor Emocional de RULER determina estos conceptos para enseñar a una persona a comprender una emoción [Lori, 2016].

Para cada FLS, se tomaron las variables de salida, de las cuales en el FLS2 se consideraron las variables de salida energía y agrado, para poder realizar un mapeo en el cuadrante y ubicarlas en el Modelo circunflejo [Anderson, 2014].

En esta representación la figura 4, que está basada en [Anderson, 2014], muestra la ubicación de algunas emociones en el espacio de excitación-valencia, los cuales pueden ser representados en la Cuadrícula Afectiva, para mapear los valores de excitación y valencia en cada cuadrante [Regan & Stella, 2007].

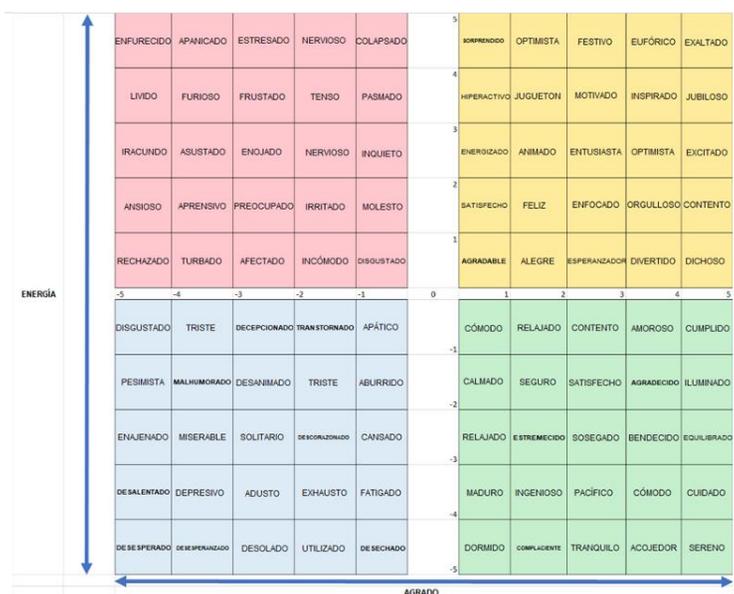
Para afinar la variable de salida en cada uno de los cuadrantes, y poderla representar en el medidor emocional de Ruler [Lori, 2016] agregamos la emoción específica para cada una de las salidas en cada cuadrante.



Fuente: [Regan, Mandryk & Stella, 2007]

Figura 4 Modelo circunflejo.

Cabe mencionar como se observa en la figura 4, en el cuarto cuadrante no existe una emoción predominante, más sin embargo no significa que NO exista una emoción, recuerda que sólo se están analizando cinco emociones (miedo, enojo, felicidad, disgusto, tristeza). En la figura 5, se muestra el medidor emocional usando palabras. Con base en la figura 4, y agregando la emoción específica que nos defina en cada cuadrante los valores de energía y agrado.



Fuente: Adaptación de [Anderson, 2014]

Figura 5 Medidor emocional usando palabras.

2. Métodos

Diseño del Modelo propuesto

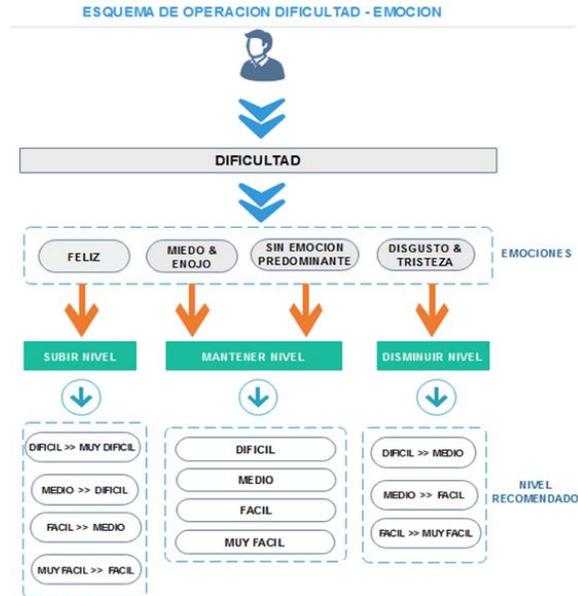
Posteriormente con base al esquema de la figura 6, se procede a la elaboración de un diagrama de propuesta del modelo jerárquico difuso, el cual es representado por las variables de entrada y de salida de cada FLS, obteniendo una propuesta de un modelo difuso jerárquico de dos capas, cien reglas y cinco funciones de membresía, tal y como se muestran en la siguiente figura 7.

A continuación, se procede a programar el modelo propuesto de lógica difusa, aplicando los sistemas jerárquicos difusos, en el módulo de Fuzzy Logic de Matlab Ver R2016a. El nuevo módulo que representaría el tercer FLS donde se integran las tres variables de entrada que son Energía, Agrado y Dificultad, y nuestra variable de salida que sería Nivel recomendado, como se ilustra en la figura 8.

Diseño de funciones de membresía

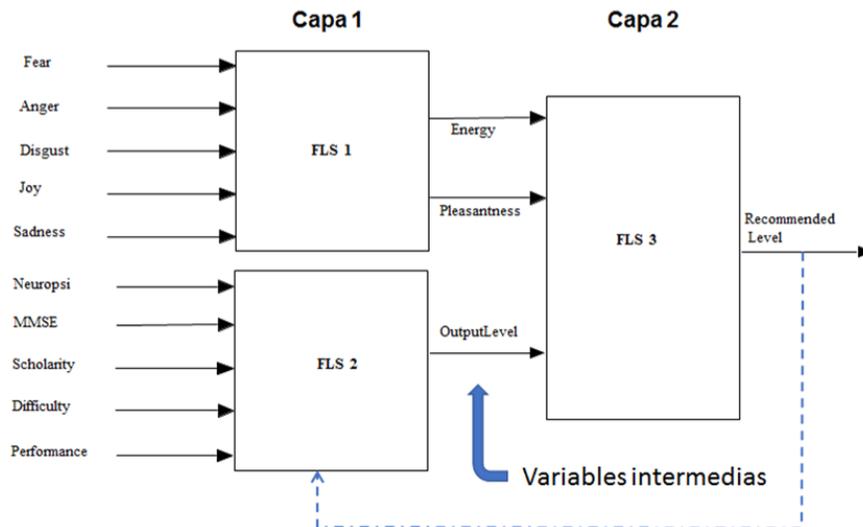
Se procede a realizar las funciones de membresía para cada variable lingüística cuya función de membresía es de tipo triangular que se encuentra definida por un límite inferior a , un límite superior b , y un valor m tal que $a < m < b$; como se muestra en la figura 9 y la cual se encuentra en un rango de $[a, b]$, define inequívocamente

los parámetros para cada función de membresía. Los valores que definen a la función de membresía de la variable de salida Nivel-Recomendado se ilustran en la tabla 1, las variables dentro y fuera definen la entrada nítida y las funciones de membresía de salida para el procesamiento.



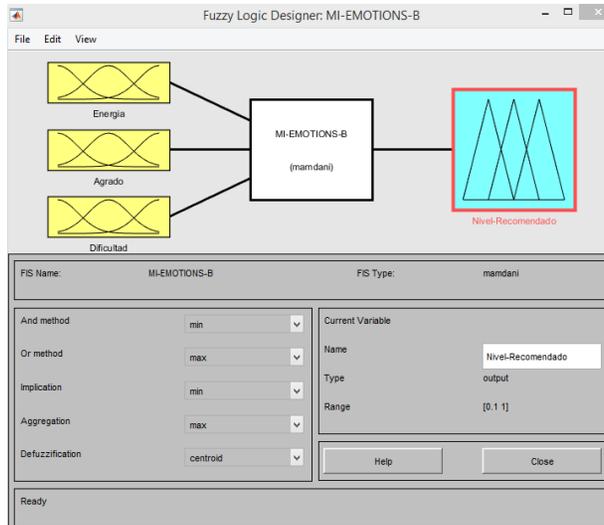
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Esquema de relación de variables Dificultad-Emoción para la determinación de nuevas reglas difusas.



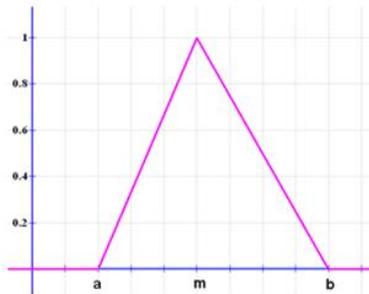
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7 Propuesta de modelo jerárquico difuso para medir un nuevo nivel recomendado de ejercicios con base al nivel emocional del paciente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Diseño del modelo propuesto en Matlab.



Fuente: Elaboración propia.

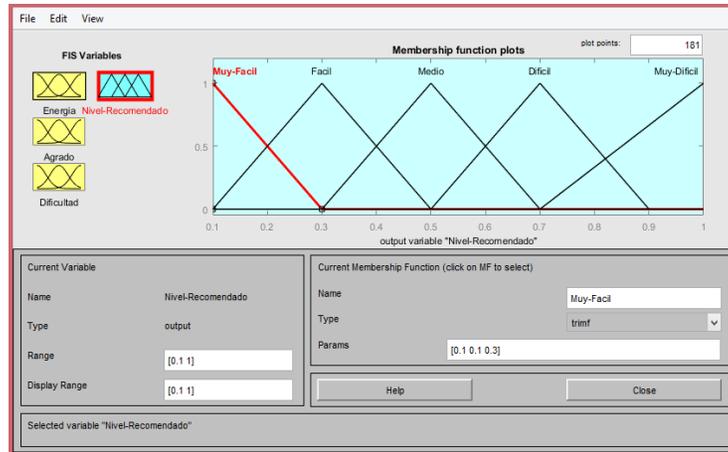
Figura 9 Función de membresía de tipo triangular.

Tabla 1 Parámetros de las funciones de membresía de la variable Nivel Recomendado.

Función Membresía	a	m	b
Muy Fácil	0.1	0.1	0.3
Fácil	0.1	0.3	0.5
Medio	0.3	0.5	0.7
Difícil	0.5	0.7	0.9
Muy Difícil	0.7	1	1

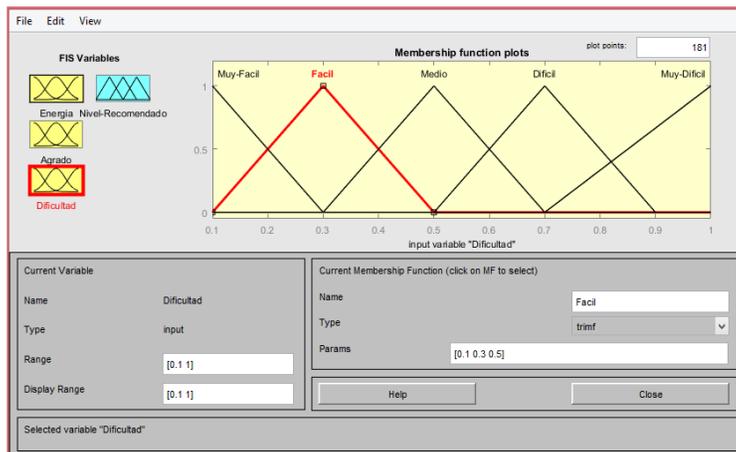
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se ilustran las funciones de membresía de cada una de las variables que son representadas en el módulo de Fuzzy Logic de Matlab. En la figura 11, se muestran las funciones de membresía de la variable de entrada, la cual se llama Dificultad. En la figura 12, se muestran las funciones de membresía de la variable de entrada, la cual se llama Energía.



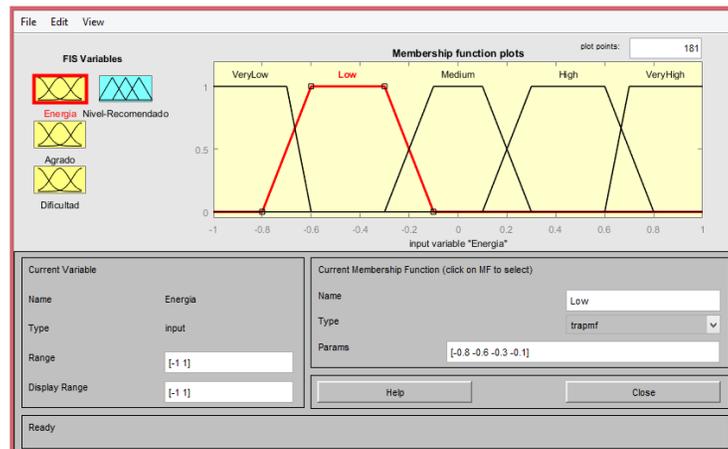
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Funciones de membresía de la variable de salida (Nivel Recomendado).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11 Funciones de membresía de la variable de entrada Dificultad.

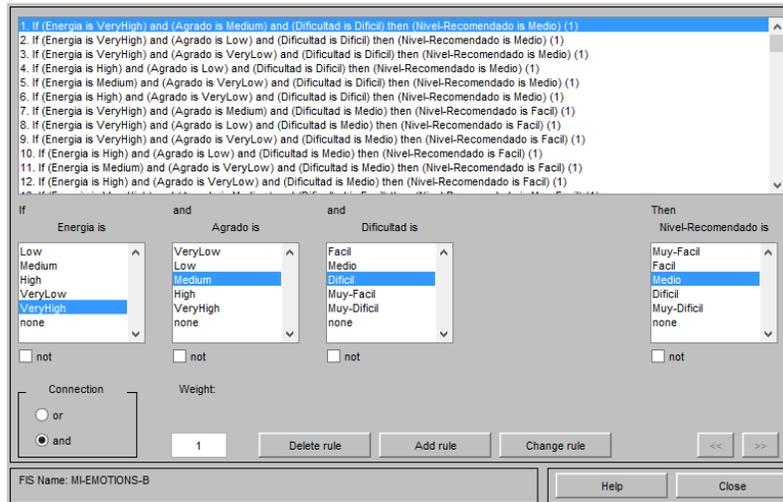


Fuente: Elaboración propia.

Figura 12 Funciones de membresía de la variable de entrada Energía.

Diseño de reglas

Las reglas que fueron definidas, tal y como se ilustran en la figura 12, con sus respectivas cinco funciones de membresía las cuales para las variables de energía y agrado fueron los términos lingüísticos: VeryLow, Low, Medium, High y VeryHigh; y para el caso de las variables Dificultad y Nivel-Recomendado fueron los términos lingüísticos: MuyFacil, Fácil, Medio, Difícil y MuyDifícil, tal se muestran en figura 13.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13 Reglas del modelo propuesto.

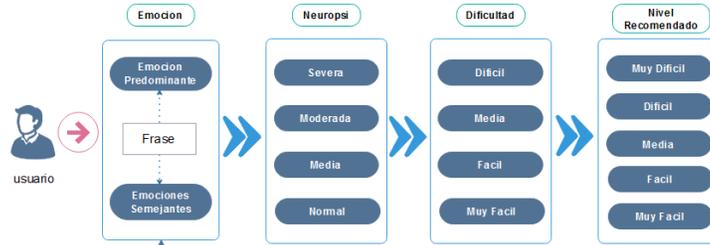
3. Resultados

Esquema escenario sintético de prueba

Los instrumentos de evaluación fueron aplicados para la preparación del escenario sintético de prueba con respecto al Sistema de Mente Activa y el Sistema de inferencia difusa para obtener la energía y el agrado a través de múltiples emociones, se elaboró un esquema de escenario sintético de prueba, como se muestra en la figura 14.

Programación del modelo Jerárquico Difuso propuesto, en el Módulo de Fuzzy Logic de Matlab

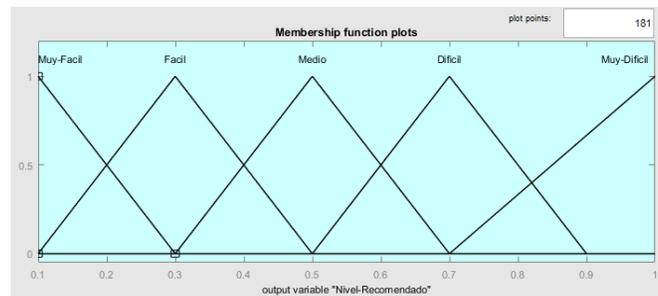
El modelo propuesto de lógica difusa, aplicando los sistemas jerárquicos difusos, se realizó utilizando el módulo de Fuzzy Logic de Matlab Ver R2016a.



Fuente: Elaboración propia.

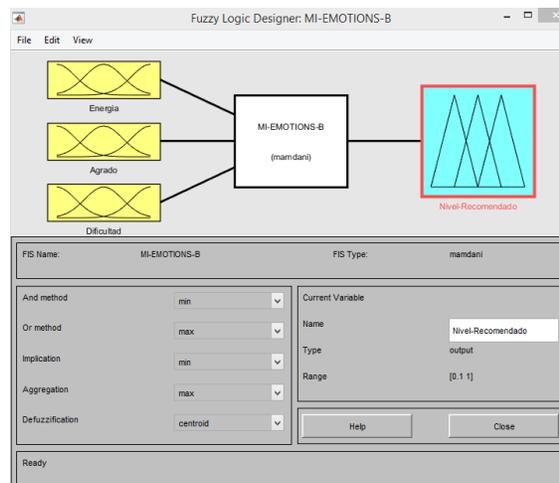
Figura 14 Esquema sintético de prueba.

En la figura 15, se representan las funciones de membresía de la variable de salida denominada Nivel Recomendado; y en la figura 16, podemos observar el modelo propuesto con sus tres variables de entrada y una variable de salida en el Módulo Fuzzy Logic en Matlab.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15 Funciones de membresía de la variable de salida (Nivel Recomendado).

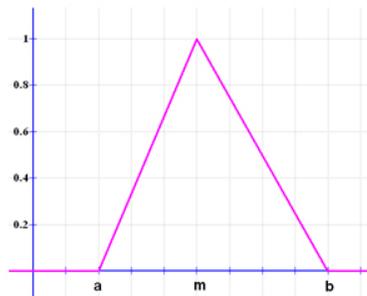


Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Diseño del modelo propuesto en el módulo de Fuzzy Logic Matlab.

Cada variable lingüística cuya función de membresía es de tipo triangular, como se representa en la figura 17 y la cual se encuentra en un rango de $[a, b]$, define inequívocamente los parámetros para cada función de membresía en la tabla 2, las variables dentro y fuera definen la entrada nítida y las funciones de membresía de salida para el procesamiento. Una función de tipo triangular viene definida por un límite inferior a , un límite superior b , y un valor m tal que $a < m < b$.

Aplicando los datos para verificar la funcionalidad del sistema difuso diseñado, se generan una serie de tres pruebas aplicando el modelo propuesto en Matlab, relacionando la frase y el paciente, donde los valores de entrada fueron energía, agrado y dificultad; y valor nítido de salida Nivel Recomendado, utilizando como defusificación el método del centroide [Ahmad, 2004].



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17 Función de membresía de tipo triangular.

Tabla 2 Parámetros de las funciones de membresía de la variable Nivel Recomendado.

Función Membresía	a	m	b
Muy Fácil	0.1	0.1	0.3
Fácil	0.1	0.3	0.5
Medio	0.3	0.5	0.7
Difícil	0.5	0.7	0.9
Muy Difícil	0.7	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Realización de pruebas

- Prueba 1. Se relaciona al paciente 1 con la Frase 1.

Frase 1. Aturdida porque me dieron muchos regalos en mi cumpleaños.

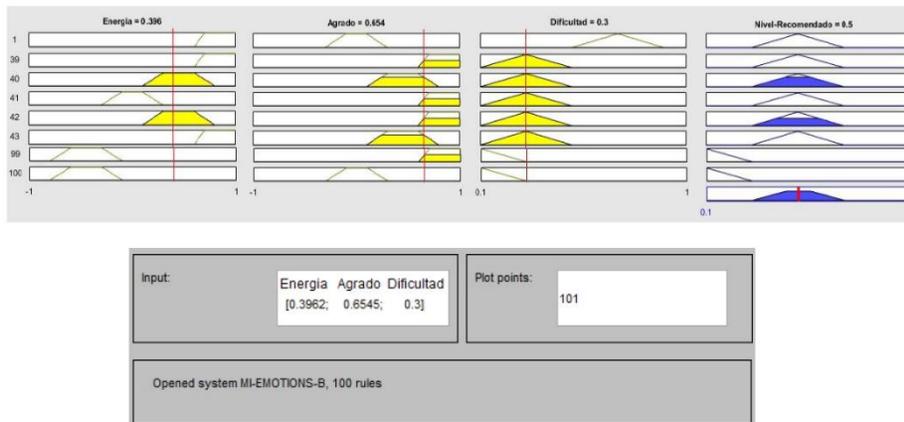
En la tabla 3, podemos observar que el conjunto de los valores de entrada, Energía = 0.3962, Agrado = 0.6545 y Dificultad = 3; y como resultado

utilizando el método del centroide para el proceso de defusificación de la variable de salida Nivel-Recomendado = 0.5. En referencia al párrafo anterior podemos concluir que el paciente 1 que se encuentra con una dificultad de 0.3 (Fácil) y la frase 1 se encuentra con una emoción predominante de Felicidad, aplicando el modelo jerárquico difuso propuesto de la figura 7 y figura 15, nos dice que el Nivel Recomendado de ejercicios debe de subir, pasando este a nivel 0.5 (Medio) tal y como lo muestran las reglas del Modelo difuso propuesto. En la figura 18, se observan los valores de entrada de la tabla 3, los cuales son probados en el modelo propuesto que se programó en el módulo de Fuzzy Logic de Matlab y se observa de manera representativa solo algunas reglas (por optimizar espacio) que dispara en las reglas número 40 y 42, resultando un valor de salida de 0.5.

Tabla 3 Relación de Valores de salida en Prueba 1.

Paciente 1	Entrada	Salida
Energía	0,396231481	
Agrado	0,65455218	
Dificultad	0.3	
Emoción Predominante	Felicidad	
Nivel Recomendado		0.5

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Relación de valores de entrada y salida de prueba 1.

- Prueba 2. Se relaciona al paciente 5 con la Frase 2.
Frase 2. Mi amigo me dijo mentiras el día de hoy.

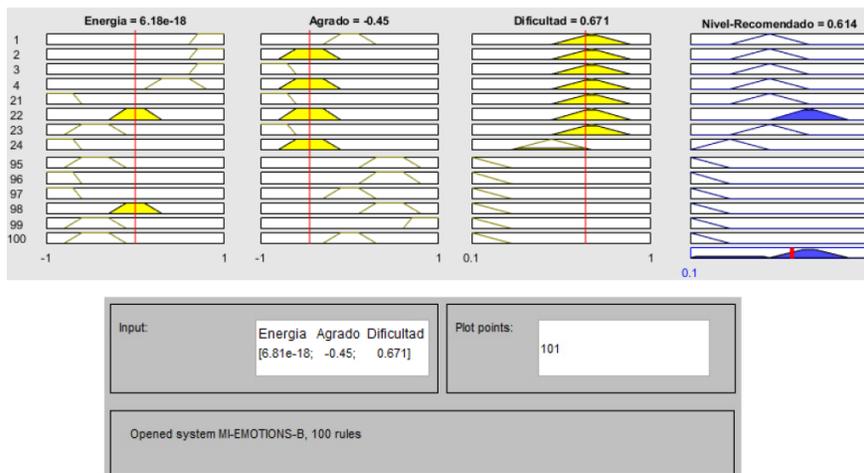
En la tabla 4, podemos observar que el conjunto de los valores de entrada, Energía = 6.81 E-18, Agrado = -0.45 y Dificultad = 0.671; y como resultado utilizando el método del centroide para el proceso de defusificación de la variable de salida Nivel-Recomendado = 0.614.

En referencia al párrafo anterior podemos concluir que el paciente cinco que se encuentra con una dificultad de 0.671 (Difícil) y la frase 2 se encuentra con una emoción predominante de Miedo & Enojo, aplicando el modelo jerárquico difuso propuesto de la figura 7 y figura 15 nos dice que el Nivel Recomendado de ejercicios se debe de mantener, 0.614 (Difícil) tal y como lo muestran las reglas del Modelo difuso propuesto. En la figura 19, se observan los valores de entrada de la tabla 4, los cuales son probados en el modelo propuesto que se programó en el módulo de Fuzzy Logic de Matlab y se observa de manera representativa sólo algunas reglas (por optimizar espacio) que dispara en la regla número 22, resultando un valor de salida de 0.614

Tabla 4 Relación de Valores de salida en Prueba 2.

Paciente 5	Entrada	Salida
Energía	6,81 E-18	
Agrado	-0,45	
Dificultad	0.671	
Emoción Predominante	Miedo & Enojo	
Nivel Recomendado		0.614

Fuente: Elaboración propia.

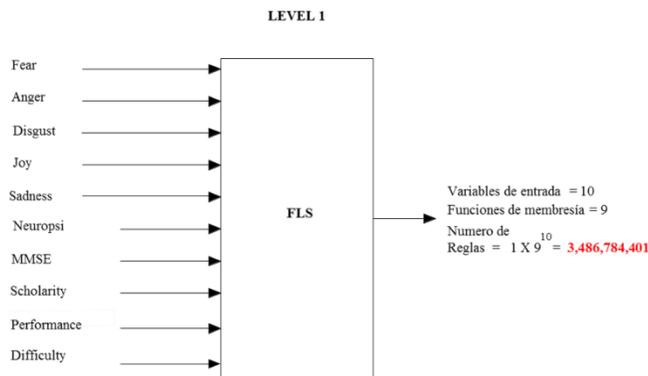


Fuente: Elaboración propia.

Figura 19 Relación de valores de entrada y salida de prueba 2.

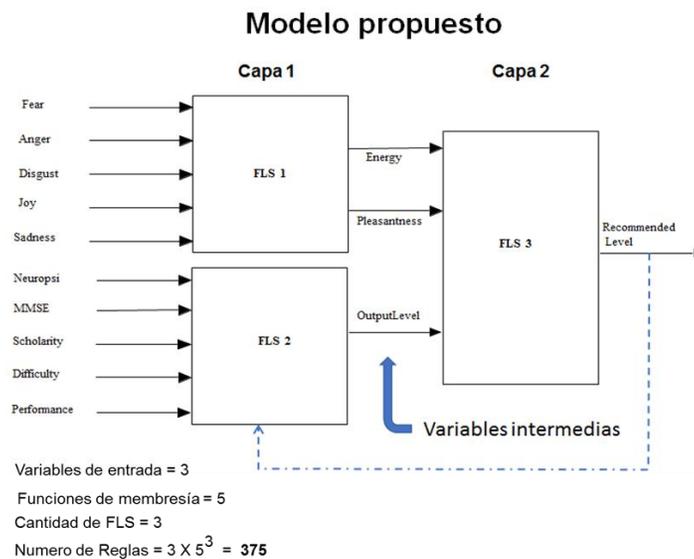
4. Discusión

Es importante mencionar que si se hubiese realizado propuesta de solución de integrar los dos sistemas de lógica difusa, en un sólo sistema difuso convencional de una sola capa, sin aplicar la ventaja de los sistemas jerárquicos difusos esto nos llevaría a aumentar las reglas exponencialmente tal y como se ilustra en la figura 20, debido a la gran cantidad de variables de entrada y a un conjunto elevado de reglas lo cual consumiría demasiado equipo de cómputo y alta demanda en tiempo de resultados, mientras que en la figura 21, se representa aplicando modelo jerárquico difuso para hacer una comparativa cuantitativa de ambos modelos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20 Diagrama un sólo FLS.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 Diagrama aplicando Modelos Jerárquicos Difusos.

Como podemos observar las reglas se redujeron considerablemente en los modelos jerárquicos difusos, pasando de 3,486,784,401 Reglas en un Sistema de Lógica Difusa convencional a 375 Reglas (como valor máximo) al aplicar los Sistemas Jerárquicos Difusos. Sin embargo, es importante mencionar que la cantidad de reglas que se definieron en el modelo propuesto fue de cien reglas, las cuales fueron analizadas con pruebas y resultados favorables al funcionamiento del modelo propuesto; con esto queda comprobada la Hipótesis que si es posible disminuir la cantidad de reglas en sistemas jerárquicos difusos en sistemas orientados a la salud, como fue el caso de estudio en esta investigación de los FLS1 y FLS2.

5. Conclusiones

La mayoría de los métodos parten del análisis del modelo difuso convencional, el modelo para el diseño de los sistemas jerárquicos difusos que se propone en este documento de investigación requiere desarrollar el modelo difuso inicial que suele ser grande y muy complejo. El modelo presentado supera este problema por los componentes de la capa de generación secuencial del sistema difuso jerárquico a partir de datos, ya que la parte más problemática del sistema difuso jerárquico son las conexiones entre capas para obtener el conjunto de datos y de agrupamiento difuso en niveles superiores.

Las entradas que ingresan al nivel inferior se agrupan en el espacio de entrada mediante un análisis de reglas en los datos de salida, lo que significa que los datos se dividen en el número deseado de grupos, y recordar que no solo disminuyendo el número total de reglas, ya que puede ser que la estructura no sea la adecuada para modelar sistemas reales y que no está bien organizada con respecto al significado físico de subsistemas difusos simples y que cada muestra de datos se asigna a algunos de estos grupos y esta información se pasa a los siguientes niveles. Las interconexiones durante el diseño del modelo son el punto débil del método. Por consiguiente el presente trabajo de investigación realizado, el sistema difuso jerárquico, no solo tiene como objetivo minimizar el número de reglas o funciones de membresía sino también optimizar el funcionamiento de sistema lógico difuso, mejorando así el poder implementar dos sistemas en uno, generando un

sistema que permita controlar las reglas de salida mediante un sistema experto que pueda procesar las salidas mediante una función objetivo, es decir, que el sistema contenga un número finito de reglas que emulen el comportamiento de pacientes para así mismo lograr un resultado que será más sensible y óptimo para los usuarios. El sistema podrá calcular los niveles de rendimiento de las entradas en sus diferentes escenarios de prueba que controlan un número finito de entradas al sistema.

Es importante que, en términos de precisión de modelado de un nuevo sistema experto, basado en sistemas difusos jerárquicos y conceptos compuestos difusos, se garantice mantener la interpretabilidad del nuevo sistema que pueda calcular los niveles de rendimiento y el número finito de entradas en sus diferentes escenarios de prueba que lo controlan.

Durante el desarrollo de la investigación del modelo propuesto basado en sistemas jerárquicos difusos, nos proporciona que el resultado obtenido de las pruebas sintéticas que se realizaron es favorable al evaluar el desempeño de los pacientes junto con una variable adicional que es el estado emocional, donde se muestran los resultados coherentes a lo esperado.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ahmad, M. Ibrahim. (2004). *Fuzzy Logic for Embedded System Applications*, Burlington Massachusetts. EETimes.
- [2] Anderson, D. (2014). A framework for studying emotions across species. *Cell*, 187-200.
- [3] Ekman, P. (2008). *An argument for basic emotions*, Cognition and Emotion. Routledge Taylor & Francis Group, 169-200.
- [4] Guido Silva, M. (2015). Monitoreo de emociones aplicadas a terapias basadas en juegos y lógica difusa para adultos mayores. *Research in Computing Science*, 81-90.
- [5] Morales Nava, R. (2019). *Evaluación de Modelos Jerárquicos Difusos Utilizando Conceptos Compuestos Difusos en Sistemas Expertos* [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de León]. León, Gto.

- [6] Lori, Nathanson & Rivers, S. E. (2016). Creating emotionally intelligent schools with RULER. *Emotion Review* 8.4, 305-310.
- [7] Mendel, J. M. (2001). Operations on type-2 fuzzy sets. Elsevier Science, 327-348.
- [8] Navarro, J. (2018). Fuzzy Adaptive Cognitive Stimulation Therapy Generation for Alzheimer's Sufferers: Towards a Pervasive Dementia Care Monitoring Platform. Elsevier, 478-490.
- [9] Panayotis, T. (2014). An overview of fuzzy theory and systems focused on fuzzy control. Redalyc.org, 121-136.
- [10] Regan, L. Mandryk & Stella Atkins, M. (2007). A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion during interaction with play technologies. Elsevier, 329-347.
- [11] Scherer, Klaus R. (2000). Emotions as episodes of subsystem synchronization driven by nonlinear appraisal processes. In *Emotion, development, and self-organization: dynamic systems approaches to emotional development*, 70-99.
- [12] Wagner Ch. & Hagraas H. (2010). Fuzzy Composite Concepts based on Human Reasoning. IEEE IRI, pp. 308-313.
- [13] Zadeh, Lotfi Aliasker. (1965). Fuzzy Sets In Information and control. Elsevier, 338-353.
- [14] Zadeh, Lotfi Aliasker. (2008). Is there a need for fuzzy logic ? Elsevier, 2751-2779.